

Simulasi Numerik Aliran Tiga Dimensi Melalui *Rectangular Duct* dengan Variasi Bukaannya *Damper*

Edo Edgar Santosa Putra dan Wawan Aries Widodo

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: wawanaries@me.its.ac.id

Abstrak - Dalam sistem saluran terdapat banyak penggunaan *elbow* dan asesoris lain yang akan menyebabkan terjadinya kerugian tekanan pada aliran. Hal tersebut disebabkan karena adanya perubahan arah aliran fluida yang melalui saluran tersebut. Nilai penurunan tekanan (*pressure drop*) pada aliran yang melalui suatu saluran dipengaruhi oleh besarnya laju aliran pada *inlet*, serta radius kelengkungan dari *elbow* yang akan menyebabkan aliran sekunder kemudian timbul aliran *vortex*. Hal ini berakibat kerugian energi (*headloss*) yang lebih besar. Peletakan bodi pengganggu dan pemasangan *elbow* dimaksudkan untuk melihat fenomena aliran di sekitar bodi pengganggu

Model uji yang akan digunakan di dalam studi ini berupa *rectangular duct* yang pada bagian *inlet* terpasang *elbow* 90° dengan *damper* yang diletakkan pada jarak $x/D_h=2$. Fluida kerjanya adalah udara yang mengalir secara *incompressible*, *viscous*, *steady* dan mempunyai profil kecepatan *uniform* pada sisi *inlet* dengan dua variasi bilangan Reynolds yaitu 2.05×10^5 dan 8.2×10^5 serta empat pengaturan sudut bodi pengganggu 0°, 10°, 20°, dan 30°. Penelitian dilakukan secara numerik 3D menggunakan piranti lunak *Computation Fluid Dynamics* (CFD) komersial dengan model turbulensi *k-ε Realizable*.

Hasil studi ini diperoleh bahwa proses *recovery* aliran dipengaruhi oleh sudut bukaan *damper*, untuk variasi sudut bukaan *damper* 30°. Dengan sudut bukaan 30° terjadi percepatan aliran pada daerah dekat dinding yang berakibat bertambahnya momentum aliran sehingga mempercepat proses *recovery* aliran dan aliran sekunder pada daerah dekat dinding dapat teratasi.

Kata Kunci— *Ducting*, *elbow*, *pressure drop*, aliran sekunder, *head loss*, *vortex*, *damper*

I. PENDAHULUAN

JARINGAN perpipaan merupakan instalasi yang sangat memegang peranan penting guna mendukung sebagian besar proses yang ada di industri, seperti yang kita ketahui pada pembangkit listrik, kilang minyak, distribusi gas alam, sistem pengondisian udara, dan lain-lain. Dalam sistem perpipaan selalu ada komponen yang disebut *fitting*, yang mempunyai koefisien *losses* dan menyebabkan *pressure drop* sepanjang aliran. Pada aplikasi tertentu diperlukan suatu sistem distribusi

guna mengalirkan fluida dari suatu tempat ke tempat lain. Sepanjang sistem tersebut terdapat saluran pembelokan (*elbow*), semakin banyak belokan sepanjang saluran maka akan timbul kerugian energi yang semakin besar pula digunakan untuk mengalirkan fluida, juga guna menghendaki adanya pengaturan laju aliran massa, maka aliran tersebut pasti akan melewati suatu gangguan yang mungkin dapat menambah kerugian energi, artinya diperlukan energi yang besar untuk menanggulangi setiap kerugian yang terjadi di sepanjang instalasi.

Upaya dalam mengamati fenomena aliran pada saluran berbentuk *octogonal elbow* 90° dengan radius ratio (r_m/D_h) 1.875 sudah dilakukan oleh [1]. Penelitian ini dilakukan dengan penambahan satu buah *guide vane* dan tanpa *guide vane*. Hasil yang didapatkan pada studi eksperimen dan numerik didapatkan profil kecepatan maksimum *elbow* berada pada sisi *inner* yang kemudian bergeser menuju *outer* seiring dengan semakin besarnya x/D_h dan ΔC_p antara *inlet* dan *outlet elbow* secara tidak langsung menunjukkan koefisien *minor losses* (K) pada *elbow*, dengan semakin kecilnya nilai koefisien *minor* maka semakin kecil juga nilai *headloss* pada *elbow* tersebut. Demikian juga pada peneliti [2] melakukan eksperimen pada pipa lurus yang diganggu oleh *butterfly valve*. Pipa tersebut memiliki diameter 0,3 m dan panjang 11D. Pengambilan data dilakukan pada bilangan Reynolds yang bervariasi rentangnya $5.0 \times 10^4 < Re < 10^6$, dilakukan dengan tambahan *elbow* 90° dan *butterfly valve* yang di-*setting* kemiringan 0° (*fully open*) dan 30°. Hasil yang didapat melalui grafik profil kecepatan pada pipa lurus yang terdapat *valve* bahwa aliran akan mencapai *fully developed* lebih awal dari pada pipa lurus yang ditambahkan *elbow*, hal ini disebabkan karena pada *elbow* tersebut sudah terjadi aliran sekunder sebelum melalui *valve*.

Penelitian yang dilakukan [3] adalah melakukan perbandingan antara hasil simulasi dan eksperimen. Simulasi ini dilakukan pada $Re = 40000$ menggunakan model turbulen RSM (*Reynolds Stress Model*) dengan variasi tiga kerapatan *mesh* yaitu, $Vk_I = 553\,052$, $Vk_{II} = 1766\,079$, and $Vk_{III} = 1034\,775$, menghasilkan data berupa grafik profil kecepatan untuk lokasi $x/D_h = 1.0$ terdapat perbedaan signifikan pada masing-masing variasi kerapatan *mesh* dan yang mendekati hasil eksperimen yaitu pada jumlah *mesh* 1034 775.

Dari beberapa penelitian di atas dilakukan penelitian lebih lanjut tentang karakteristik aliran melewati saluran

seperti yang dilakukan [1] dan [3] yaitu saluran yang akan dipasang *elbow* dan *dampener* pada sisi *inlet*. Penelitian dilakukan menggunakan metoda komputasi pada bilangan Reynolds, 2.05×10^5 dan 8.2×10^5 *dampener* diletakkan pada rasio jarak $x/D_h = 2$ dengan variasi bukaan *dampener* 0° , 10° , 20° , dan 30° . Hasil yang diamati berupa profil kecepatan, dan visualisasi aliran

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan simulasi numerik aliran melalui saluran udara *rectangular* yang tersusun atas *straight channel upstream*, *elbow*, dan *straight channel downstream* yang ditempatkan sebuah *dampener*, selanjutnya mengetahui profil kecepatan pada setiap *cross section* pada posisi setelah *dampener*, mengetahui profil kecepatan sebelum *elbow*, pada *elbow*, dan setelah *elbow*, serta memberi gambaran tentang visualisasi aliran pada posisi setiap penampang setelah *dampener*.

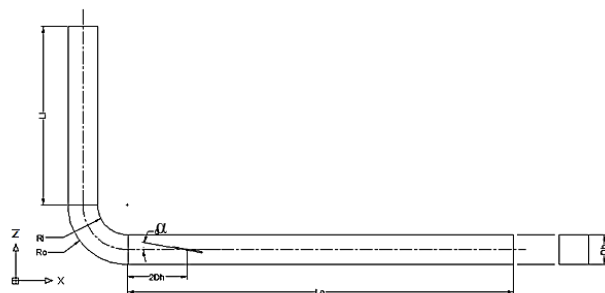
II. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai metode penelitian secara numerik yang akan digunakan. Metode ini menggunakan piranti lunak simulasi CFD komersial untuk menganalisis karakteristik aliran tiga dimensi dalam *rectangular ducting* dengan variasi sudut bukaan *dampener* 0° , 10° , 20° , dan 30° yang terletak pada daerah *downstream* setelah *elbow* $x/D_h = 2$ dan besar kecepatan pada sisi inlet 10 dan 40 m/s.

2.1. Geometri Ducting

Ducting pada penelitian ini memiliki penampang *rectangular*, dan pada bagian *inlet* terhubung *elbow* 90° , kemudian terpasang juga bodi pengganggu berupa *dampener* yang terletak pada jarak $x/D_h = 2$ sesudah *elbow*. Geometri *ducting* dan penempatan *dampener* diilustrasikan oleh gambar 1. Spesifikasi dari *domain* pemodelan ini adalah sebagai berikut:

- Bentuk Penampang : *Rectangular*
- Panjang *downstream duct* (L_o) : 6000 mm
- Panjang *upstream duct* (L_i) : 1800 mm
- Tinggi dan lebar ($a \times b$) : 300 x 300 mm
- *Elbow Inner radius* (r_i) : 300 mm
- *Elbow Outer radius* (r_o) : 600 mm
- *Hydraulic diameter* (D_h) : 300 mm



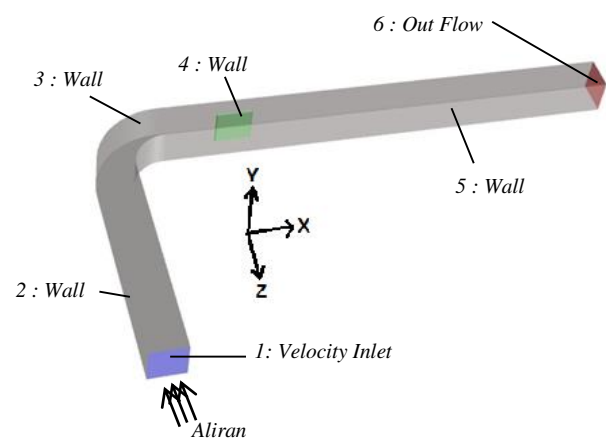
Gambar 1. Geometri Ducting

3.2. Metode Numerik

Tabel 1.
Kondisi batas dan *setting* awal pada metode numerik

Pre-Processing	Type Mesh	Hexahedral-Map
	Boundary Condition	Inlet : Velocity Inlet Outlet : Outflow Upstream Duct Downstream Duct Elbow } Wall
Post-Processing	Solver	Pressure-Based
	Model Turbulen	k-ε Realizable
	Material	$\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$ $\mu = 1,7894 \times 10^{-5} \text{ N.s/m}^2$
	Residual	10^{-6}
	Initial Condition	Velocity Inlet
	Velocity	10 m/s dan 40 m/s
	Operating Condition	1 atm

Untuk mengetahui geometri domain secara *isometric* dapat ditunjukkan melalui gambar 2.



Gambar 2. Domain pemodelan dan kondisi batas dari *ducting*

Nomenklatur :

1. Inlet
2. Upstream Straight Channel
3. Rectangular Elbow 90°
4. Damper
5. Downstream Straight Channel
6. Outlet

2.3. Posisi Pengambilan Data pada Domain Benda Uji

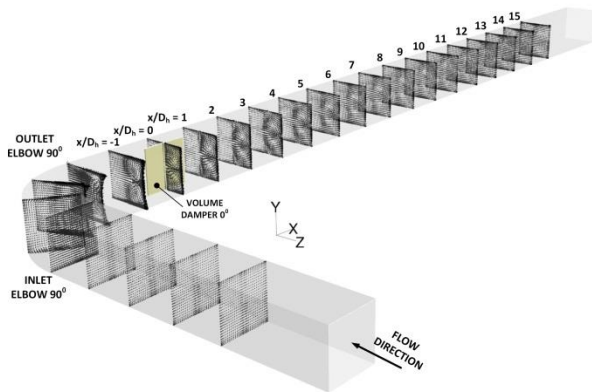
Mengacu dari gambar 3. menunjukkan posisi pengambilan data profil kecepatan pada sisi *downstream* dan koefisien tekanan pada *elbow*. Referensi nol pada sisi *downstream* terletak di $x/D_h = 2$. Pengambilan data profil kecepatan sisi *downstream* diambil di posisi $x/D_h = -1$ dan $x/D_h = 1$ s/d $x/D_h = 15$. Pada *elbow*, data diambil di posisi $\phi = 0^\circ$; $\phi = 30^\circ$; $\phi = 60^\circ$; dan $\phi = 90^\circ$ baik sisi *inner* maupun *outer wall*

III. ANALISA DAN PEMBAHASAN

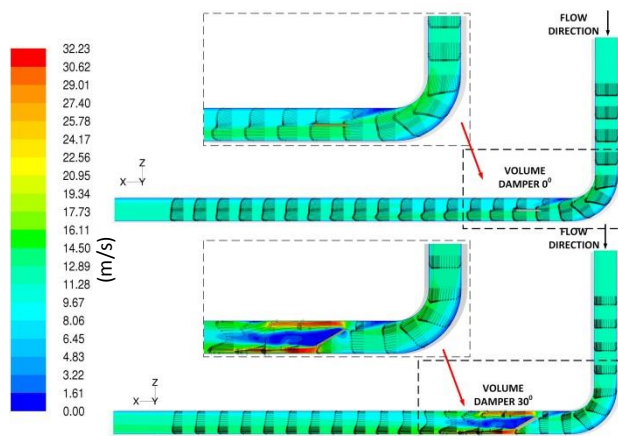
3.1. Perbandingan Distribusi Profil Kecepatan Pada Sudut Kemiringan $\alpha = 0^\circ$ dan 30° ($Re = 2.05 \times 10^5$)

Profil Kecepatan pada *ducting* dipengaruhi oleh sudut kemiringan *dampener* sebagai bodi pengganggu kemudian

diamati perkembangan aliran di dalamnya. Distribusi kecepatan disajikan dalam bentuk kecepatan tak berdimensi (u/U) dimana u adalah kecepatan lokal pada *section* tersebut dan U merupakan kecepatan maksimum pada *section* yang sama. Berikut ini akan dibahas perkembangan *velocity profile* setiap *section* sebagaimana yang tertera pada gambar 4. Penempatan setiap *cross section* dapat dilihat pada gambar 3

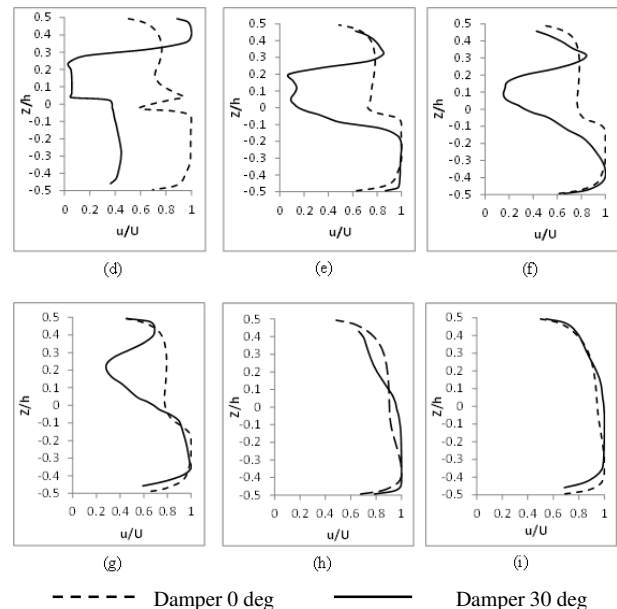
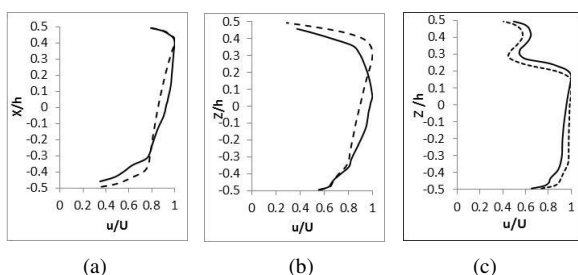


Gambar 3. Penempatan posisi *cross-section*



Gambar 4. Perkembangan *velocity profile* dan kontur kecepatan sepanjang aliran untuk $Re=2.05 \times 10^5$

Untuk lebih jelasnya, dari gambar 4 akan dibahas penjelasan analisa tentang bagaimana perilaku aliran dua dimensi dari *upstream* menuju *downstream* berupa grafik *velocity profile* dalam bentuk bilangan tak berdimensi yang bernilai dari nol sampai satu baik pada absis maupun ordinat. Absis pada grafik menunjukkan posisi titik dimana nilai $Z/h = 0.5$ adalah posisi yang searah dengan sisi *inner elbow*, sedangkan $Z/h = -0.5$ adalah posisi yang searah dengan sisi *outer elbow*. Pemaparan grafik perbandingan antara sudut bukaan 0° dan 30° sebagaimana yang tertera pada gambar 5



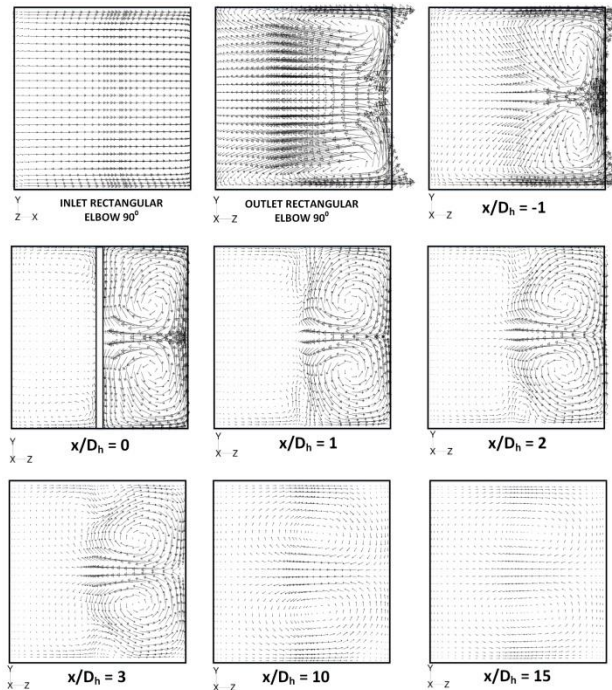
Gambar 5. Grafik *velocity profile* masing-masing posisi *cross-section* berdasarkan x/D_h : a). 0° ; b). 90° ; c). -1 ; d). 0 ; e). 1 ; f). 2 ; g). 3 ; h). 10 ; i). 15

Pada gambar 4. secara umum bentuk profil kecepatan di sepanjang sisi *upstream* sampai *downstream* dijelaskan sebagai berikut: saat memasuki *elbow*, profil kecepatan sudah mengalami perkembangan sejauh $6D_h$, seperti pada gambar 5.(a) kecepatan pada sisi *inner* lebih besar dari pada sisi *outer* hal ini dipengaruhi oleh adanya perbedaan tekanan antara sisi *inner* dan *outer* bentuk profil ini akan sama sampai *outlet elbow* (gambar 5.(b)). Pada jarak $x/D_h = -1$ sebelum melewati *damper* terjadi kerugian energi kinetik (*kinetic energy losses*) yang disebabkan oleh terbentuknya aliran sekunder di sisi *inner elbow* sehingga terdapat *blockage effect* seperti pada gambar 5.(c) akibatnya sebagian besar aliran akan mengalir pada sisi *outer* sehingga memiliki kecepatan yang lebih besar. Ketika aliran terganggu oleh laluan berupa *damper* seperti pada gambar 5.(d), terdapat perbedaan yang signifikan pada variasi kedua sudut *damper*, pada sudut 30° terjadi percepatan pada sisi *inner wall*, hal ini disebabkan karena adanya penyempitan luas penampang, namun sebagian aliran yang mengalir pada sisi *outer wall* memiliki kecepatan yang rendah. Sedangkan pada sudut 0° sisi yang memiliki kecepatan lebih tinggi adalah sisi *outer*, disebabkan pada sisi *inner* masih terdapat pengaruh aliran sekunder sebelumnya. Setelah melalui *damper* sejauh D_h terjadi *recovery* di sisi *centerline*, terlihat pada gambar 5.(e); (f); (g). Selanjutnya pada jarak $x/D_h = 10$ s/d 15 kedua aliran tersebut sudah normal kembali.

3.2. Perbandingan Vektor Kecepatan Setiap *Cross-Section* Pada $Re = 2.05 \times 10^5$ Dengan Sudut Kemiringan $\alpha = 0^\circ$ dan 30°

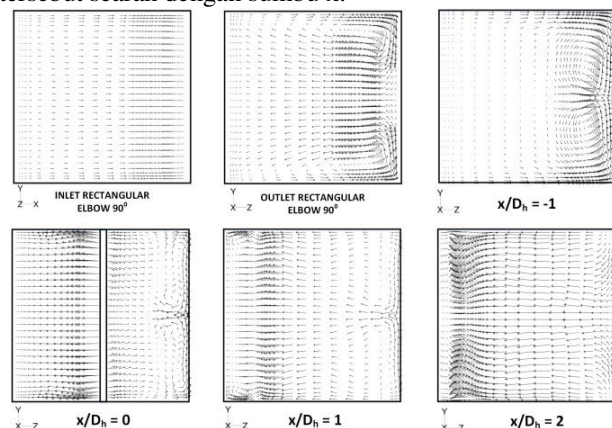
Pada sub-bab ini akan disampaikan visualisasi berupa vektor kecepatan di setiap *cross-section* yang posisinya telah ditunjukkan oleh gambar 3. Dari visualisasi aliran tersebut akan diperoleh perbandingan yang lebih jelas mengenai perilaku aliran yang terjadi pada *rectangular duct* secara tiga dimensi. Berikut ini hasil dari masing-masing *cross-section* yang diambil gambar vektor

kecepatannya seperti yang terlihat pada gambar 6 dan 7

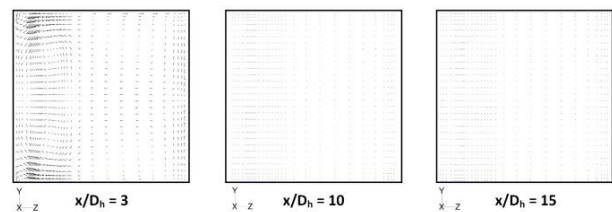


Gambar 6. Visualisasi vektor kecepatan di setiap *cross-section* untuk $Re = 2.05 \times 10^5$; $\alpha = 0^\circ$

Berdasarkan gambar 6 dan 7 dapat terlihat visualisasi aliran dalam bentuk tiga dimensi dari *inlet elbow* sampai $x/D_h = 15$. Daerah *outlet elbow* di sisi *inner wall* dimana terjadi perlambatan disebabkan oleh terbentuknya aliran sekunder, sehingga hal ini berpengaruh terhadap *velocity profile* yang terlihat lebih kecil pada sisi *inner*-nya. Setelah aliran mengalir sejauh $10D_h$ aliran sekunder berangsur-angsur kembali mengikuti aliran utamanya, hal ini ditandai dari vektornya berbentuk titik, artinya vektor tersebut searah dengan sumbu x .



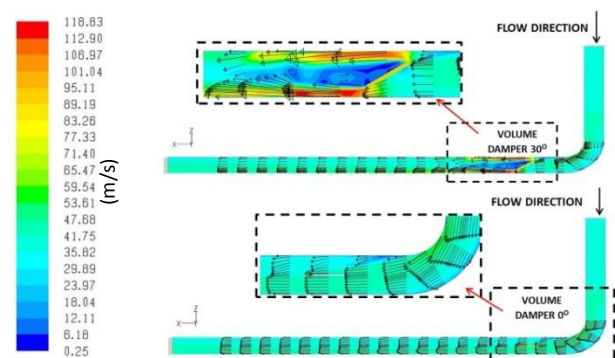
Pada sudut bukaan 30° dijumpai aliran sekunder pada sisi *outer* maupun *inner* di posisi $x/D_h = 0$ s/d 2, hal itu disebabkan karena efek kerugian energi kinetik di sisi *centerline* yang mempengaruhi aliran didekat dindingnya.



Gambar 7. Visualisasi vektor kecepatan di setiap *cross-section* untuk $Re = 2.05 \times 10^5$; $\alpha = 30^\circ$

3.3. Perbandingan Distribusi Profil Kecepatan Pada Sudut Kemiringan $\alpha = 0^\circ$ dan 30° ($Re = 8.2 \times 10^5$)

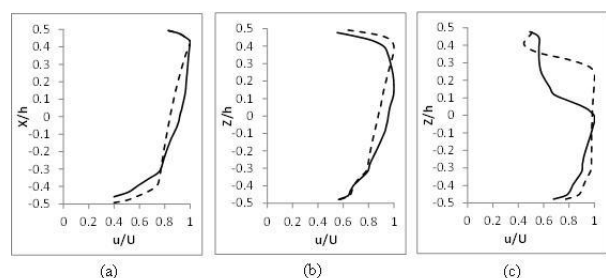
Berikut ini adalah gambaran umum *velocity profile* beserta kontur kecepatan yang mewakili besar kecepatan sepanjang aliran seperti pada gambar 8

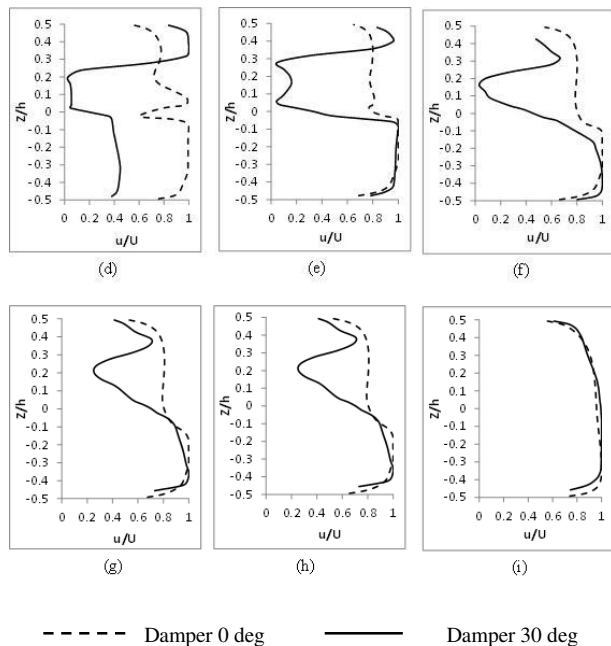


Gambar 8. Perkembangan *velocity profile* dan kontur kecepatan sepanjang aliran untuk $Re = 8.2 \times 10^5$

Setelah itu akan dibahas penjelasan analisa tentang bagaimana perilaku aliran secara dua dimensi dari *upstream* menuju *downstream* berupa grafik *velocity profile* dalam bentuk bilangan tak berdimensi, agar lebih detail dipaparkan dalam grafik perbandingan antara sudut bukaan 0° dan 30° sebagaimana yang tertera pada gambar 9.

Pada gambar 8 secara umum bentuk profil kecepatan di sepanjang sisi *upstream* sampai *downstream* dijelaskan sebagai berikut: saat memasuki *elbow*, profil kecepatan sudah mengalami perkembangan sejauh $6D_h$, seperti pada gambar 9.(a) kecepatan pada sisi *inner* lebih besar dari pada sisi *outer* hal ini dipengaruhi oleh adanya perbedaan tekanan antara sisi *inner* dan *outer* bentuk profil ini akan sama sampai *outlet elbow* (gambar 9.(b)).



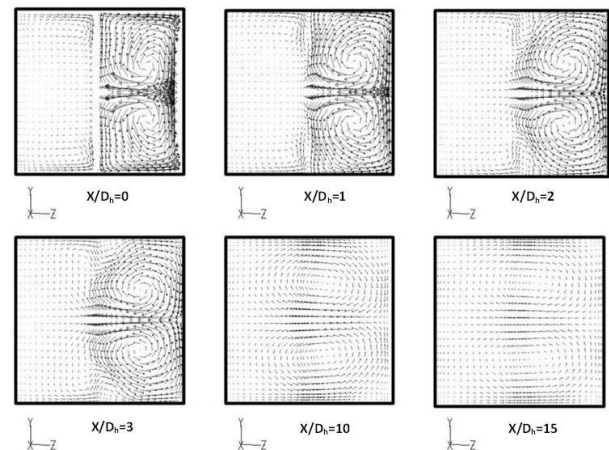
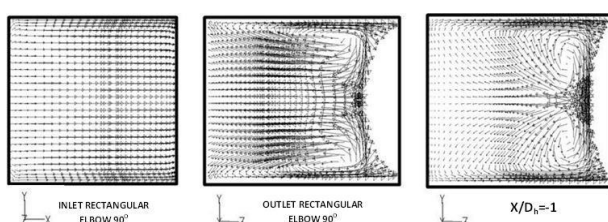


Gambar 9. Grafik *velocity profile* pada masing-masing posisi *cross-section* berdasarkan x/D_h : a). 0° ; b). 90° ; c). -1; d).0; e).1; f).2 ;g).3; h).10; i).15

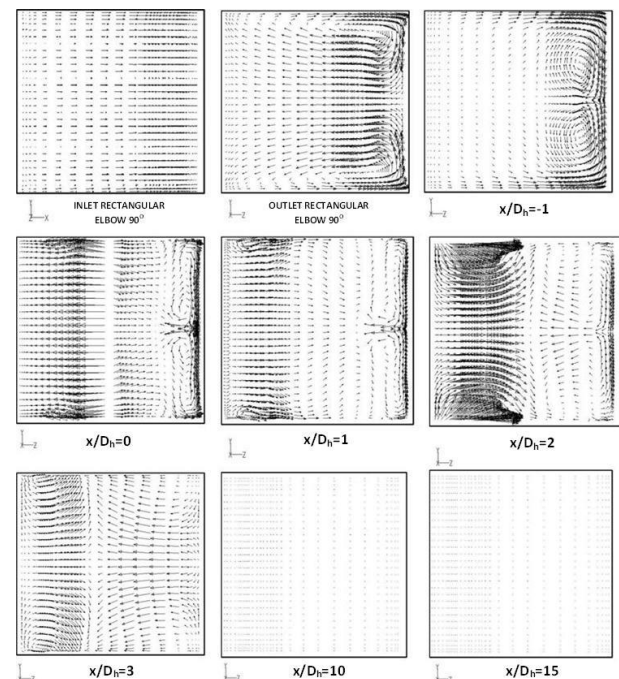
Pada jarak $x/D_h = -1$ sebelum melewati *damper* terjadi kerugian energi kinetik (*kinetic energy losses*) yang disebabkan oleh terbentuknya aliran sekunder di sisi *inner elbow* sehingga terdapat *blockage effect* seperti pada gambar 9.(c) akibatnya sebagian besar aliran akan mengalir pada sisi *outer* sehingga memiliki kecepatan yang lebih besar. Ketika aliran terganggu oleh saluran berupa *damper* seperti pada gambar 9.(d), terdapat perbedaan yang signifikan pada variasi kedua sudut *damper*, pada sudut 30° terjadi percepatan pada sisi *inner wall*, hal ini disebabkan karena adanya penyempitan luas penampang, namun sebagian aliran yang mengalir pada sisi *outer wall* memiliki kecepatan yang rendah. Sedangkan pada sudut 0° sisi yang memiliki kecepatan lebih tinggi adalah sisi *outer*, disebabkan pada sisi *inner* masih terdapat pengaruh aliran sekunder sebelumnya. Setelah melalui *damper* sejauh D_h terjadi *recovery* di sisi *centerline*, terlihat pada gambar 9.(e); (f); (g). Selanjutnya pada jarak $x/D_h = 10$ s/d 15 kedua aliran tersebut sudah normal kembali

3.4. Perbandingan Vektor Kecepatan Setiap *Cross-Section* Pada $Re = 8.2 \times 10^5$ Dengan Sudut Kemiringan $\alpha = 0^\circ$ dan 30°

Penjelasan tentang terbentuknya aliran sekunder pada penampang tertentu akan dipaparkan lebih jelas pada pembahasan di sub-bab ini melalui gambar 10 dan 11.



Gambar 10. Visualisasi vektor kecepatan di setiap *cross-section* untuk $Re = 8.2 \times 10^5$, $\alpha = 0^\circ$



Gambar 11. Visualisasi vektor kecepatan di setiap *cross-section* untuk $Re = 8.2 \times 10^5$, $\alpha = 30^\circ$

Berdasarkan gambar 10 dan 11 dapat terlihat visualisasi aliran dalam bentuk tiga dimensi dari *inlet elbow* sampai $x/D_h = 15$. Daerah *outlet elbow* di sisi *inner wall* dimana terjadi perlambatan disebabkan oleh terbentuknya aliran sekunder, sehingga hal ini berpengaruh terhadap *velocity profile* yang terlihat lebih kecil pada sisi *inner*-nya. Setelah aliran mengalir sejauh $10D_h$ aliran sekunder berangsur-angsur kembali mengikuti aliran utamanya, hal ini ditandai dari vektornya berbentuk titik, artinya vektor tersebut searah dengan sumbu x. Pada sudut bukaan 30° dijumpai aliran sekunder pada sisi *outer* maupun *inner* di posisi $x/D_h = 0$ s/d 2, hal itu disebabkan karena efek kerugian energi kinetik di sisi *centerline* yang mempengaruhi aliran didekat dindingnya.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Dari hasil penelitian yang telah dibahas sebelumnya maka dapat diambil kesimpulan meliputi sebagai berikut :

1. Adanya perlambatan aliran di daerah yang menghubungkan *upstream* dan *downstream* sesaat sebelum melalui *damper* untuk semua variasi sudut, hal ini disebabkan adanya *blockage effect* akibat terbentuknya aliran sekunder pada sisi *inner wall* dekat dinding, daerah ini memiliki momentum yang rendah.
2. Tidak ada pengaruh yang signifikan pada variasi kecepatan terhadap proses *recovery* aliran, melainkan proses *recovery* aliran sangat dipengaruhi variasi sudut bukaan *damper* 0° , 10° , 20° , 30°
3. Pembentukan aliran sekunder pada sudut bukaan *damper* 0° hanya terjadi pada sisi *inner wall*, sedangkan pada sudut bukaan *damper* 30° aliran sekunder terbentuk pada sisi *inner* maupun *outer wall*.
4. Pada variasi sudut bukaan *damper* 0° memiliki variasi *range* kecepatan yang paling rendah, sedangkan sudut bukaan *damper* 30° memiliki variasi *range* kecepatan yang paling tinggi, hal ini disebabkan penyempitan luas penampang di daerah sekitar *damper*, dimana di daerah tersebut terjadi percepatan aliran.
5. Sudut bukaan *damper* 30° merupakan sudut yang paling efektif untuk mempercepat proses *recovery* aliran dan menanggulangi timbulnya aliran sekunder yang terletak di dekat dinding.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Danbon, F dan Sollicec, C. 2000." Aerodynamic Torque of a Butterfly Valve-Influence of an Elbow on the Time-Mean and Instantaneous Aerodynamic Torque." Nantes: Ecole des Mines de Nantes, Département Systèmes.
- [2] Zaldhy L. P. P, Louis. 2015. "Studi Numerik Karakteristik Aliran Melalui Modified Octagonal U-Bend Dengan Dan Tanpa Guide Vane" Jurusan Teknik Mesin : ITS
- [3] Rup, K., dan Sarna, P. 2011."Analysis of Turbulent Flow Through a Square-Sectioned Duct with Installed 90-degree Elbow". Cracow: Elsevier